

Вулкан Олдоиньо Ленгаи (Танзания) и сущность его современных извержений

Рассматривается природа вулканических потоков, которые традиционно трактуются как единственный на Земле пример современных карбонатитовых лав (карбонатных магм, расплавов), имеющих мантийный источник. Показано, что таковыми они не являются, а представляют собой грязевые содовые массы, содержащие органику. Их источником являются массы растворов и осадков щелочного озера Натрон, которые проникают вглубь по рифтогенным разломам в надочаговое пространство вулкана, где нагреваются и далее извергаются в виде потоков, гейзеров, пепловых масс. Продукты извержений в свою очередь снова попадают в озеро. На современном этапе развития вулкан Олдоиньо Ленгаи представляет эпимагматическую фреато-гидротермальную рециклинговую систему.

Ключевые слова: карбонатиты, грязевой вулканизм, гейзериты, рециклинговая система, щелочное озеро.

БАРЫШЕВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, baryshev@tsnigri.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геолого-разведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва

The Oldoinio Lengai volcano, Tanzania: the essence of its recent eruptions

A. N. BARYSHEV

Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow

The article considers the nature of the volcanic fluxes that are traditionally interpreted as the only example of recent mantle-derived carbonatite lavas (carbonate magmas or melts) on the Earth. However, it turns out that this is not correct. These fluxes represent muddy soda masses with organics. Their source are masses of solutions and sediments of the Natron alkaline lake, that penetrate deep to the above-chamber space of the volcano along rifting faults, where they are heated and then erupt as fluxes, geysers, and ash masses. The eruption products in turn get to the lake again. At the recent stage of development, the Oldoinio Lengai volcano represents an epimagmatic phreatic hydrothermal recycling system.

Key words: carbonatite, mud volcanism, geyserite, recycling system, alkali lake.

Вулкан Олдоиньо Ленгаи знаменит тем, что практически во всех научных публикациях и многочисленных туристических проспектах, выложенных в Интернете, фигурирует как единственный на Земле пример современных излияний карбонатитовых лав. И это служит главной опорой для представлений о существовании глубинных карбонатных расплавов: «Получены убедительные доказательства существования автономных магматических тел, сложенных подобными породами (карбонатитовые лавы в Африке). Они в подавляющем большинстве случаев являются продуктом различного рода эволюции силикатных систем» [4, стр. 162]. При этом в общей петрографической классификации карбонатиты представляют семейство карбонатные, где

выделяются виды: кальцитовый, доломитовый, анкеритовый, сидеритовый, бенстонитовый (бариевый) и содовый (натрокарбонатный). Важно отметить, что в другой, минерагенической системе «классических» карбонатитов, с которыми связаны разнообразные редкометалльные месторождения, содовые карбонаты не упоминаются из-за практического отсутствия.

Характеристика вещества содовых извержений вулкана Олдоиньо Ленгаи приведена А.Н. Зайцевым. Вулкан сложен нефелинитами, а сверху породами, которые относят к карбонатитовым лавам. Под карбонатитами понимаются «не только изверженные карбонатные горные породы так называемых ранних карбонатитов, но и гидротермальные

и метасоматические породы, которые образуются на поздних стадиях процесса образования карбонатитов» [3]. Главную роль в них играют карбонат натрия и его разновидности в ассоциации с кальцием и калием. Для характеристики химического состава кристаллического продукта вулкана («лава карбонатита») приведён анализ образца, отобранного в 2008 г. (в%): Na_2O – 32,22, K_2O – 8,38, CaO – 14,2, BaO – 1,66, SrO – 1,42, MgO – 0,38, MnO – 0,38, Fe_2O_3 – 0,28, CO_2 – 31,55, SO_3 – 3,72, Cl – 3,40, F – 2,50, P_2O_5 – 0,85, SiO_2 – 0,16, TiO_2 – 0,02, H_2O^+ – 0,56. Извержение «лав» сопровождается фумаролами, газами с температурой от 49 до 312 °С, состоящими из CO_2 и H_2O (суммарно до 98%) при весьма малом количестве H_2 , CO , H_2S , HC_1 , HF и CH_4 .

Сущность вулкана Олдоиньо Ленгаи, режим вулканизма и свойства продуктов извержений демонстрируют киносъёмки и фотографии его деятельности, выложенные в Интернете, многие без указания авторства, а часть из них со ссылкой на [7]. О геологических условиях и составе продуктов извержений можно судить по материалам, опубликованным в литературе. Составим из них общую картину. Но предварительно необходимо конкретизировать далее используемую для этого терминологию. В геологии лавами принято называть текущие потоки расплавленного вещества, практически всегда силикатного. Водные потоки (расплава льда) лавами не называют. То же относится и к грязевым потокам, а учитывая их консистенцию, тела иногда именуют сальзами (исп. *salza* – соус). Мелкие конические сооружения

в вулканологии называют горнитосами (от исп. *horno* – печь, *hornito* – маленькая печь). До обоснования расплавленного состояния карбонатных масс применение термина лава к их потокам весьма условно и преждевременно.

Вулкан Олдоиньо Ленгаи очень часто извергается и меняет свой облик. В книге [1] приведена фотография его конуса с очень крупным жерлом, похожим на тот, каким вулкан стал во втором десятилетии XXI века. Однако на рубеже веков вулкан был иным. Его общий вид того времени показан на рис. 1.

На южной стенке кальдеры (дальней на правом фото) отчётливо видны сохранившиеся слои стратовулкана, а северная часть конуса ровно обрезана, что могло быть результатом фреатического взрыва. Глядя на кальдеру, заполненную содовыми карбонатами, может возникнуть представление об аналогии с расчленённым комплексом карбонатитов и УЩК, в котором собственно карбонатиты занимают центральное место, наиболее распространённое в концентрической структуре комплекса относительно ультращелочных силикатных его членов. Но это всего лишь внешнее сходство, обусловленное иными процессами. На это указывают особенности последующего содового вулканизма, характеризуемые ниже.

Горнитосы, вырастающие на разлитой содовой массе, выглядят сначала как курильщики (рис. 2). В дальнейшем горнитосы приходили в буйство, извергая чёрные массы в виде потоков, что отражает поступление в надочаговое пространство большой

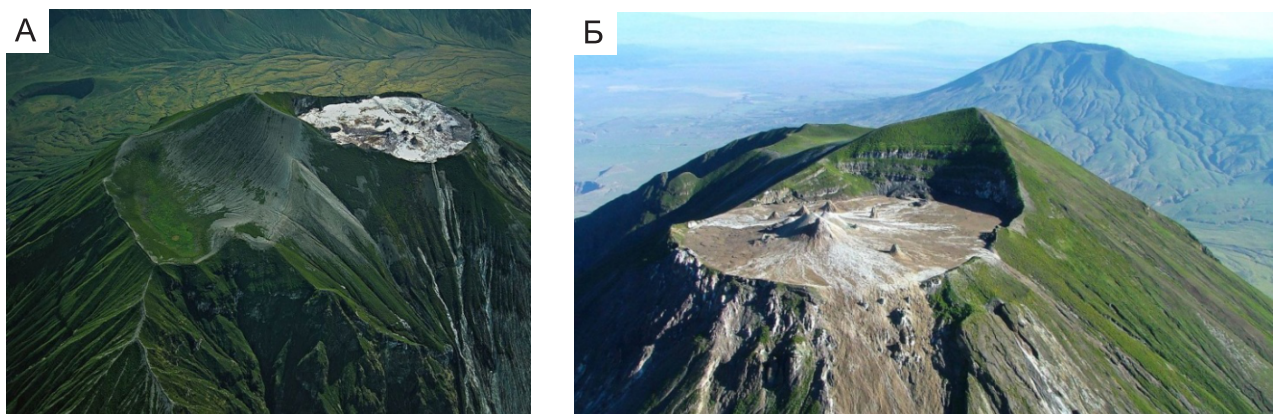


Рис. 1. Вулкан Олдоиньо Ленгаи:

А – вид с юго-востока: кальдера, расположенная на севере вулканического конуса, ещё не совсем заполнена белыми содовыми массами; над их разлившимися потоками возвышаются горнитосы; в верхнем левом углу снимка на дне рифта виден паразитический кратер, от которого потоки стекают на север к озеру Натрон; Б – вид с северо-запада: кальдера наполнена содовыми массами, потоки которых стекают с конуса. Фото 2006 г., <http://www.sodis-travellivejournal.com>

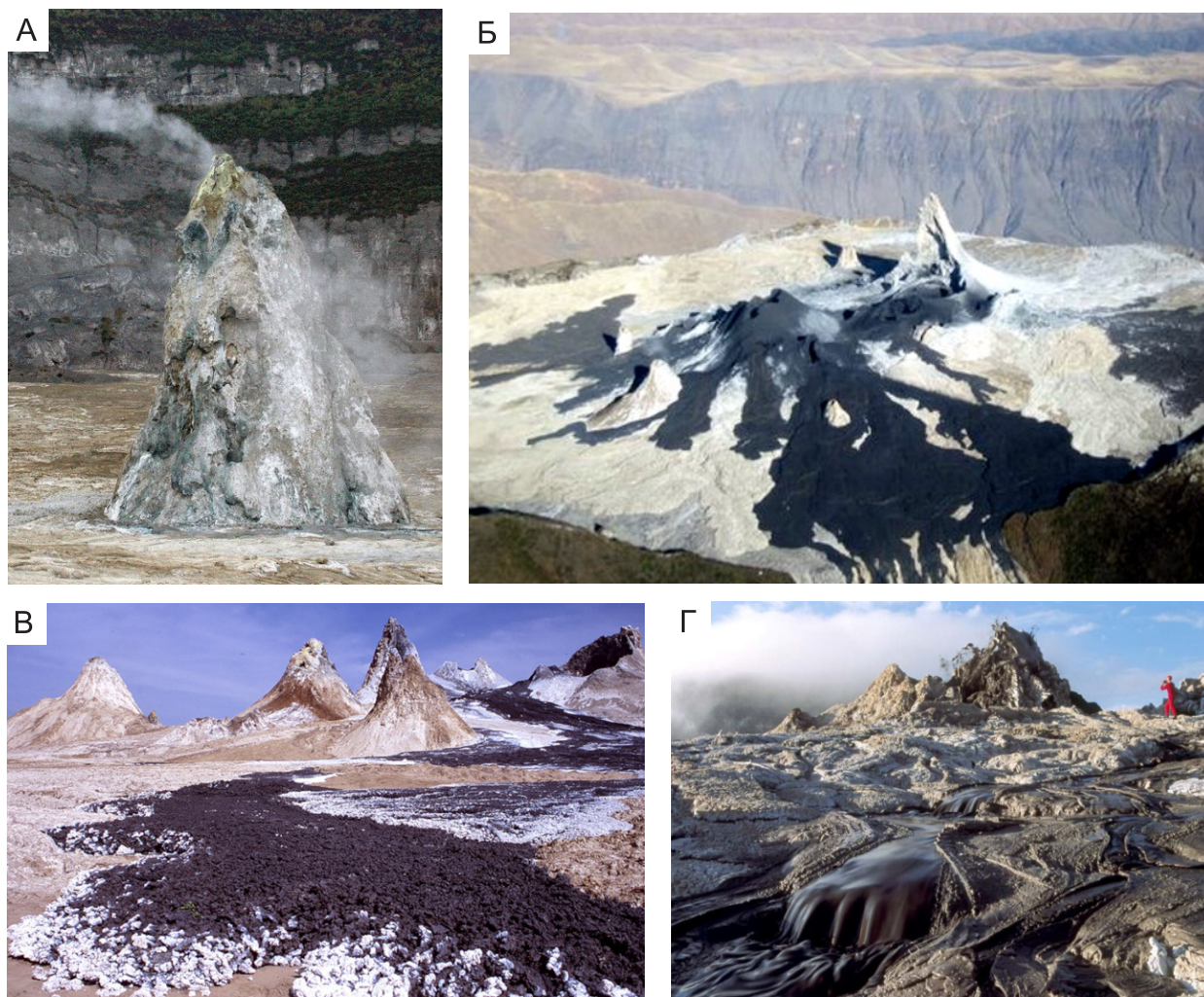


Рис. 2. Горнитосы и потоки содовых масс в кальдере вулкана Олдоиньо Ленгаи:

А – содовый «курильщик» с газами у стенки южного края старой кальдеры, *фото Jeffrey Brown*; Б – потоки чёрных растворов соды в смеси с органикой, вытекающие из горнитосов на поверхность раскристаллизованной белой соды; В – последовательное изменение цвета потоков и горнитосов (от чёрного к белому при сублимации органики и к бурому) в процессе диагенеза содовых масс; Г – обрастание горнитосов выплесками из них кипящих растворов соды, что создаёт «содовые скалы», при одновременном излиянии жидких потоков из других горнитосов

дозы смеси воды и соды с плохо очищенной от органического вещества грязи. Потоки жидких содовых масс сначала имеют чёрный цвет. При остановке они теряют содержащуюся в них воду и органику, карбонаты кристаллизуются и приобретают белый цвет. В условиях кальдеры на это уходит всего четыре дня, о чём свидетельствуют фотографии 2000 г. одного и того же потока, запечатлевающие через каждый день это явление [8]. Позже их цвет становится бурым и серым. Подобным свойством, как известно, обладают травертины. При кристаллизации соды из раствора масса приобретает почковидную текстуру,

которую для вулкана Олдоиньо Ленгаи без достаточных на то оснований иногда трактуют как аа-лавы. Отличие, в частности, состоит в том, что в базальтовых аа-лавах обломки на поверхности её мощных потоков образуются рано и переносятся самой лавой, а в случае Олдоиньо Ленгаи почковидная отдельность в массе потока появляется после кристаллизации на месте.

Очень редко, но бывает так, что грязевой «карбонатит» перед извержением из горнитоса («печки») воспламеняется, образуя зарево (рис. 3). При выходе из жерла горнитоса воспламенённые содовые массы



Рис. 3. Возгорание продуктов извержения вулкана Олдоиньо Ленгаи:

А – воспламенённый поток чёрной массы «карбонатита» (смеси растворённых соды и органики) с усилением возгорания его при встрече с воздухом на выходе из горнитоса; Б – зарево от воспламенённых газов над горнитосом перед излиянием содовых масс; В – «обувной термометр» для испытания возможной температуры тлеющего неугасшего грязевого потока («раскалённой псевдокарбонатитовой лавы»)

образуют огненные потоки, напоминающие потоки базальтовых лав вулкана Мауна Лоа на Гавайях. Ну чем не карбонатитовая магма?! Но не всё так просто. Поверхность базальтовых потоков бывает воспламенённой, если лава изливается на растительный покров, а горючие газы от него проникают через лаву. Здесь же извергаемые массы загораются внутри горнитоса.

Фоторафия (см. рис. 3) отчётливо демонстрирует три последовательных разновременных потока. На первый, нижний, весьма маломощный поток,

в котором уже прошла сублимация чёрных остатков раскалённой органики (на что, как отмечалось, требуется около четырёх дней), наплывает новый поток чёрной грязи. Грязь третьего потока возгорается уже в горнитосе, а при встрече с воздухом на спуске со стенки горнитоса становится ещё ярче, что видно в самой верхней его части. После выхода красной массы из жерловины горнитоса наступает жёлтое свечение того же грязевого потока подобно тому, как возрастает свечение угля в печке, если на него дуть, что отличает данное явление от излияний

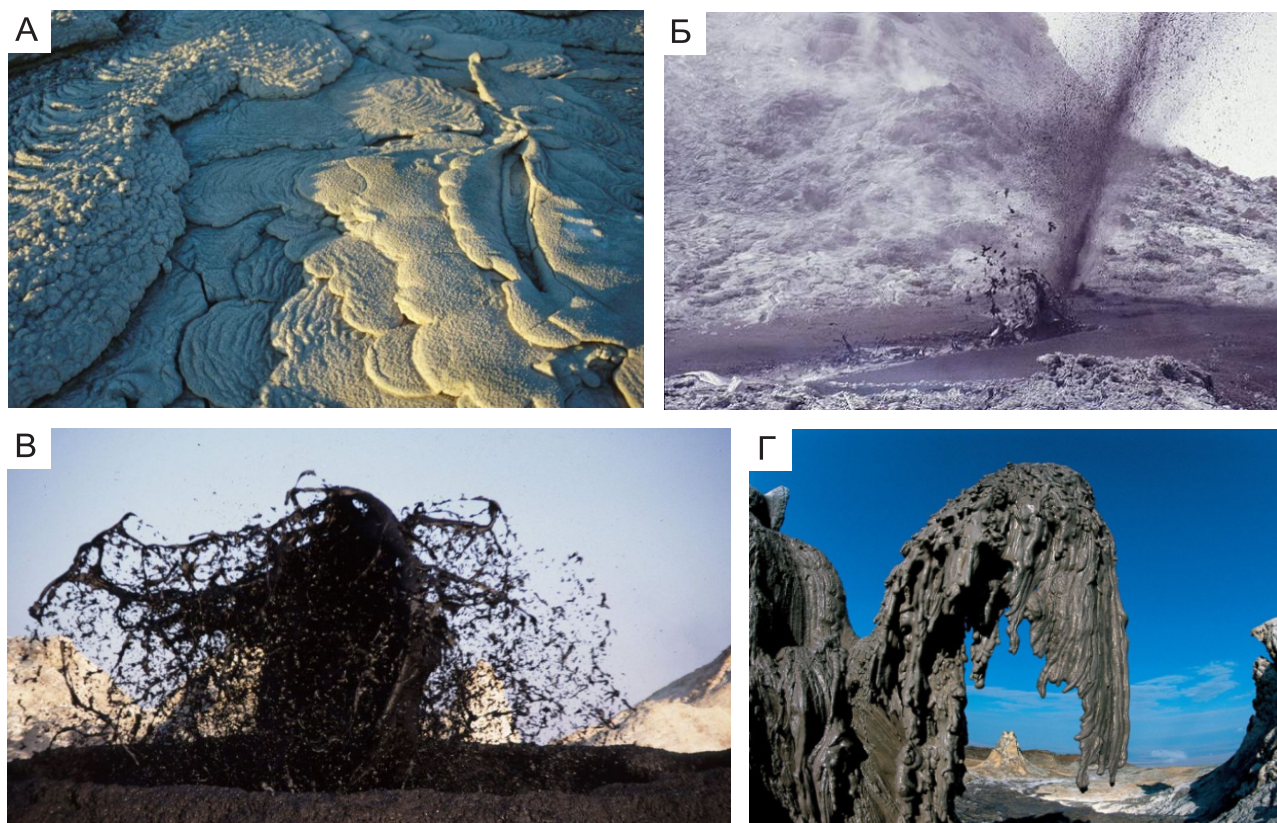


Рис. 4. Растворённые содовые массы извергаются в виде маломощных потоков и гейзеров с быстрой потерей растворителя:

А – маломощные потоки раствора (суспензии) содовых масс, приобретшие почечную текстуру после кристаллизации; Б – гейзер, пробивающийся через содовые массы у подножья горнитоса в кратере вулкана, фото Jeffrey Brown, интерпретация А. Н. Барышева; В – гейзерит – столбообразный «лохматый» массив, выросший из разбрызгиваемой гейзером содовой массы; Г – стекающие содовые массы на краю гейзерита, образовавшиеся по завершении выбросов растворов («крыло выросло, а взлететь выше не удалось»)

раскалённых силикатных расплавов, например, базальтовых лав Мауна Лоа. Истинную сущность этой «раскалённой лавы» демонстрирует испытание её «обувным термометром». Подобно тому как неугасший тлеющий уголь, вынутый из печки, можно взять брезентовой рукавицей, так и прикосновение к потоку обуви не приводит к её возгоранию. В то же время увеличение доступа воздуха при отжимании обувной подошвой края тлеющей грязи приводит к её более яркому свечению.

Другим важным свойством извергаемых масс, не согласующимся с предположением о расплавленном их состоянии, является очень низкая вязкость, в результате чего потоки имеют очень малую мощность от единиц до первых десятков сантиметров. Это более соответствует раствору или суспензии. Растворённость карбонатных масс и вероятная под-

питка растворов поверхностными водами выражаются в деятельности, аналогичной образованию травертинов с характерной текстурой (рис. 4, А).

Бронирование кальдеры кристаллической содовой массой приводит к возрастанию давления газов под ней, а это в свою очередь – к формированию гейзеров, выносящих газовой-жидкие содовые струи (см. рис. 4). Эти струи могут быть столь интенсивными, а выпадение карбонатной фазы из раствора столь стремительным, что из гейзера может вырасти столб. После того как гейзер прекратил извержения, стекающие струйки раствора на краю столба образовали сталактит, по форме подобный крылу.

Как известно, травертины и гейзериты образуются в результате гидрохимических процессов выпадения из растворов. В местах выхода на поверхность водных растворов падает давление и удаляется CO_2 .

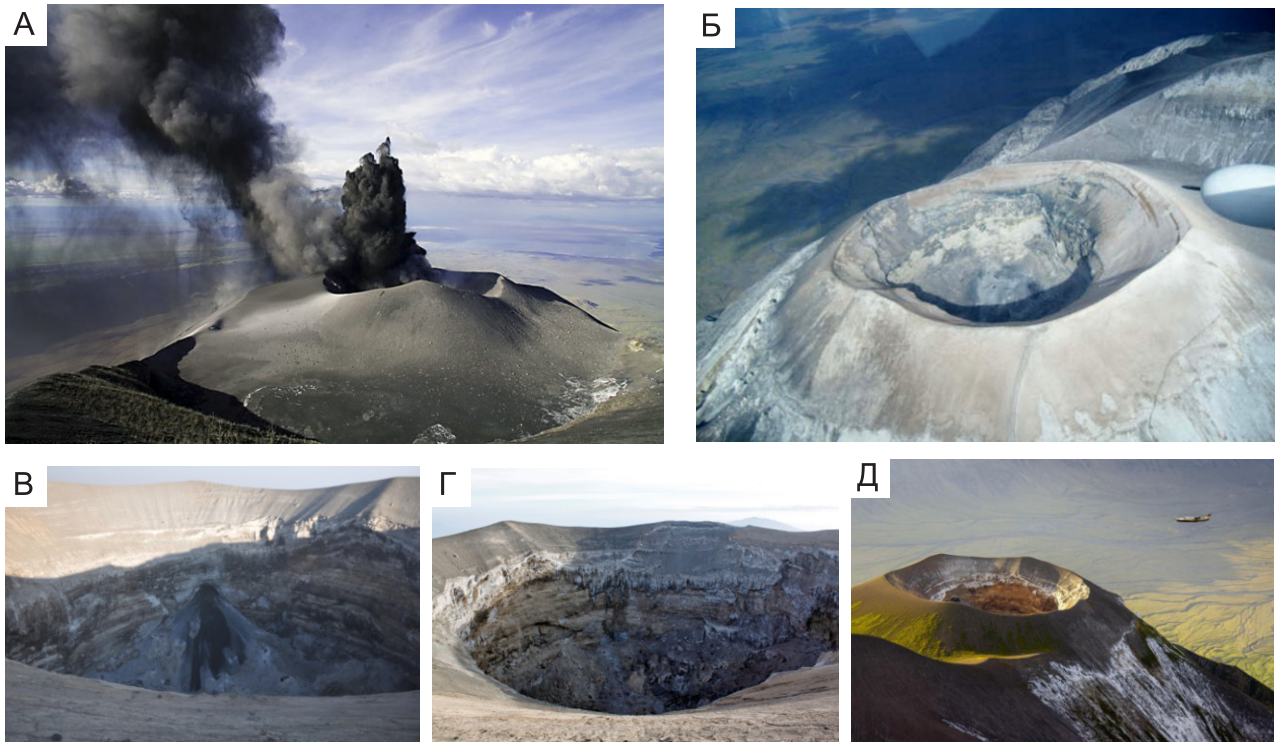


Рис. 5. Новое пепловое извержение вулкана Олдоиньо Ленгаи и его угасание:

А – извержение облака пепла, состоящего из частиц органики и соды, формирование насыпного конуса; Б – конус содовых пеплов, выросший на месте кальдеры; внизу слева виден её край, а справа вверху – ранее сохранившаяся от взрыва южная стенка конуса (аэрофотосъёмка 2011 г.); В – рост чёрной соммы из поднимающихся жидких газонасыщенных содовых масс в старом жерле; Г – обрушение стенок жерла с осыпями внутри него и растворение верхних слоёв с образованием на них сталактитов (вид вулкана в феврале 2016 г.); Д – следы старых содовых потоков из кальдеры и отсутствие на вершине пеплового конуса

Вследствие этого растворённый гидрокарбонат кальция распадается с образованием нерастворимого карбоната, выпадающего в осадок.

Так вулкан Эльдоиньо Ленгаи создавал невероятные скульптуры. А потом, отдохнув, принялся извергать содовый пепел в виде чёрного дыма подобно паровозу, из труб которого вырываются остатки неуспевшего сгореть в топке угля. В результате уже в 2011 г. был возведён гладкий конус, без всяких потоков, которые трудно выдать за лаву (рис. 5). В жерле вулкана вновь возникла чёрная сомма. Однако материал и мощь для строительства вскоре иссякли, мало того, всё стало рушиться, жерловина заполнялась обвалившимися со стенок массами, разрушилась и сомма. Со стенок сверху потекли содовые слёзы-сталактиты, правда, белые, а не чёрные, то есть не столь горячие. И вулкан снова стал похож на тот, который был запечатлён на фотографии книги, изданной в 1982 г. [1]. Таким образом, вулкан восстал не из пепла, а благодаря пеплу! И позже,

судя по фотографиям, сделанным 29 и 30 июля 2019 г. [6], кратер вулкана стал снова заполняться содовыми массами с формированием горнитосов.

Об источнике продуктов, извергаемых вулканом Олдоиньо Ленгаи, принимаемых за «лавы» карбонатитов, нет единого мнения. По заключению А. Н. Зайцева, детально их изучавшего, «геохимические особенности отдельных минералов и пород в целом, включая и изотопные данные, указывают на глубокий, мантийный источник вещества карбонатитов» [3]. Однако, представить наличие в мантии громадных содержаний органики, присущей многократно извергаемым «лавам» вулкана, вряд ли возможно. Подобные содовые массы с аналогичной потерей органики при её сублимации присутствуют в щелочном озере Натрон, когда оно высыхает. Позиция озера контролируется теми же рифтогенными разломами, на которые насажены вулканы, в том числе и конус Олдоиньо Ленгаи, потоки которого запруживают озеро (рис. 6).

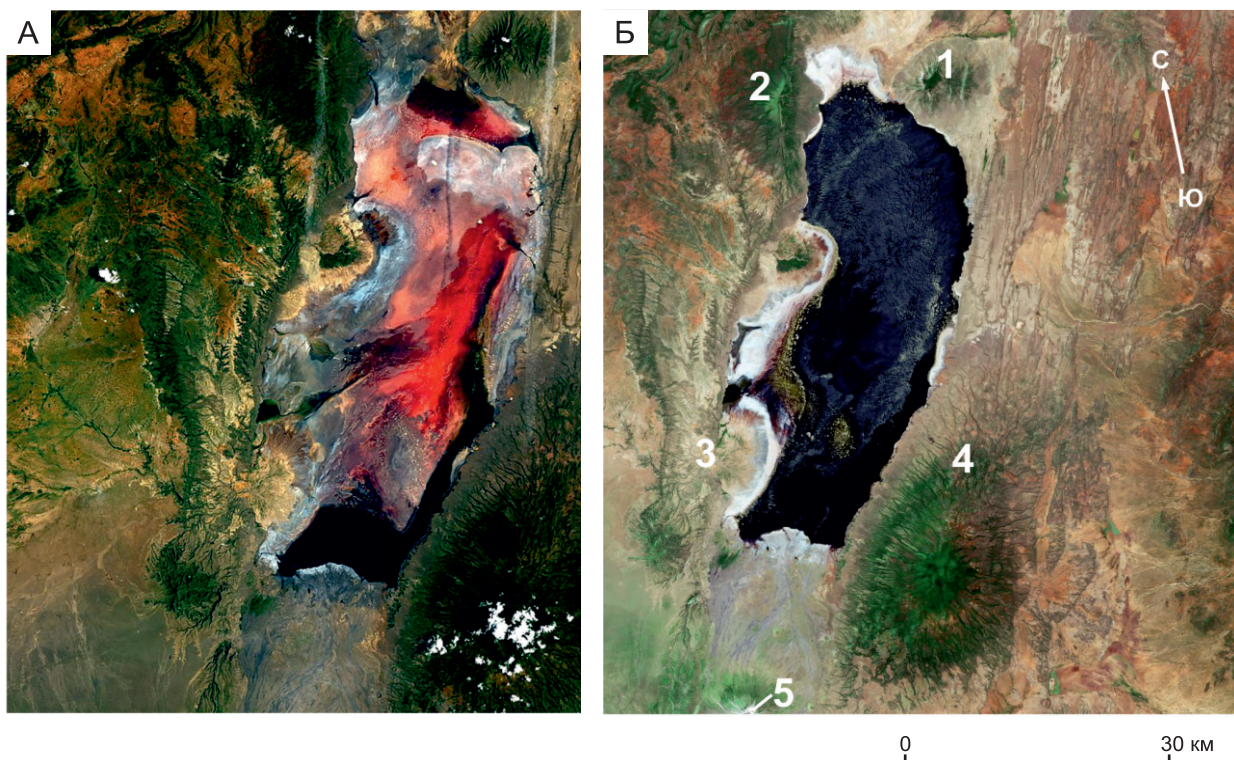


Рис. 6. Озеро Натрон, позиция вулканов, следы разрывных структур рифта Грегори. Вид из космоса при разном наполнении озера водой и большем осушении (Б):

вулканы: 1 – Шомболи ($2^{\circ}10'$ ю.ш., $36^{\circ}12'$ в.д.), 2 – Олдоиньо Самбу ($2^{\circ}10'$ ю.ш., $35^{\circ}55'$ в.д.), 3 – Мосоник ($2^{\circ}35'$ ю.ш., $35^{\circ}48'$ в.д.), 4 – Гелаи ($2^{\circ}38'$ ю.ш., $36^{\circ}07'$ в.д.), 5 – Олдоиньо Ленгаи ($2^{\circ}44'$ ю.ш., $35^{\circ}53'$ в.д.); масштабная линейка и направление север–юг приведены на основе координат вулканов

В зависимости от глубины дна озера меняется его цвет, отражающий степень выпаривания и концентрацию содовых растворов вплоть до полного высыхания. Красный цвет определяется наличием высокой концентрации каротиноида *Astaxanthin* в микроорганизмах озера. На выжженной солнцем поверхности суши, прилегающей с востока к озеру, проявляются разрывные структуры, совершённая прямолинейность которых в плане свидетельствует об их сдвиговой природе.

Существенным индикатором органогенной природы извергаемых чёрных масс, превращаемых в белые содовые, является поведение фламинго, населяющих озеро Натрон. Птицы строят свои гнёзда почти из таких же чёрных масс, как и извергаемые вулканом. К концу высиживания птенцов гнёзда становятся белыми (рис. 7). Фламинго собираются в несметные стаи для питания на чёрных массах, оставляя белые без внимания, используя их только для отдыха. При этом они чутко реагируют на характер превращения органического вещества (концентрации красного каротиноида *Astaxanthin* в микро-

организмах), которое меняется с глубиной и концентрацией соды. Это позволяет фиксировать крупные кольцевые структуры адекции толщ дна на малую амплитуду. При диагенезе осадков озера образуются небольшие грязевые кратеры (рис. 8), а при большем высыхании возникают такыры с почечной текстурой фрагментов, подобной текстуре диагенезированных потоков масс в кальдере вулкана, принимаемых за аа-лавы.

Озеро Натрон питается текущей с севера на юг рекой Эвасо-Нгиро, которая несёт много примесей, в том числе органики. Это нашло отражение в её названии (в переводе с языка племени самбуру означает «река коричневой воды»). Учитывая интенсивное проявление близмеридиональных трещин в фундаменте вулканов и дне озера, можно уверенно утверждать о наличии подземного стока вод вдоль них и питании ими (вместе с присутствующей органикой) продуктов извержений, потому и чёрных.

Рассмотренные последовательность и характер развития вулкана Олдоиньо Ленгаи практически повторяют то, что написано В. Н. Холодовым в отношении



Рис. 7. Колонии фламинго – индикаторы присутствия и исчезновения во времени и в пространстве органического вещества среди осадочных толщ содовых масс. Пояснения в тексте

грязевого вулканизма [5]. Извержения начинаются со взрыва газов в кратере, разрушения кратерной пробки и выхода на поверхность потоков полужидких грязевых брекчий. Нередко происходит самовозгорание углеводородных газов и над кратером появляется пламя. Массы грязебрекчий, содержа-

щих большие количества воды, нефти, сероводорода и рассеянных сульфидов, растекаясь на площади, надстраивают старый конус. При этом объёмы твёрдых выбросов огромны. На кратерной площадке появляются многочисленные грязевые конусы, непрерывно поставляющие на поверхность жидкую грязь,

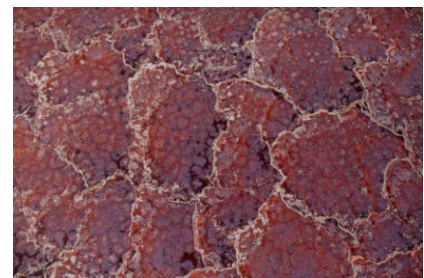


Рис. 8. Возникновение мелких грязевых содовых кратеров при высыхании слоистых осадков дна озера Натрон. Почечная текстура осадков внутри каждой ячейки такыра. Вдали виден вулкан Шомболи; пояснения в тексте

газ, воду, а иногда и нефть. Приводимые в статье фотографии морфологических особенностей грязевых вулканов (рис. 9) аналогичны ряду вулканических образований Олдоиньо Ленгаи: те же скалистые «шайтанские горы», те же конические горнитосы, потоки, жерла. При грязевом вулканизме потеря

газовой составляющей изменяет свойства остаточного раствора.

Карбонатные массы, изверженные в наши дни вулканом Олдоиньо Ленгаи, не соответствуют представителям «классических» карбонатитов и не являются расплавленными образованиями, которые правомерно

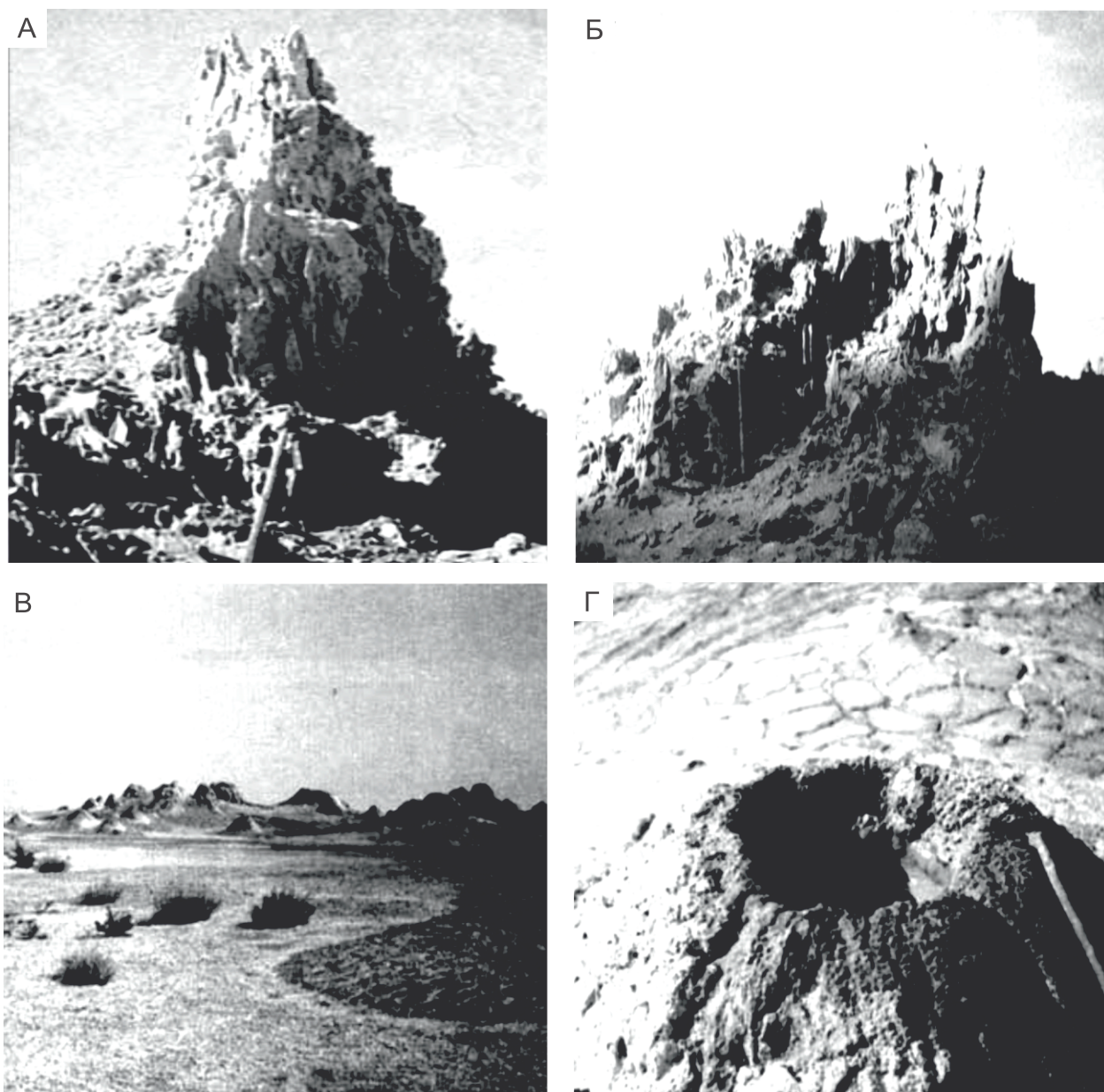


Рис. 9. Геологические образования грязевого вулканизма. По [5]:

А – общий вид necka вулкана Кобек (Западная Туркмения); Б – песчаные трубы «шайтанских садов», Челекен (Западная Туркмения); В – кратерная площадка и грязевые конусы, впереди справа грязевой поток вулкана Дашгиль (Азербайджан); Г – конус и жерло действующего грязевого вулкана Шуго (Тамань), вдали такыр – многоугольники на поверхности высохшего грязевого потока

называть лавами. В настоящее время вулкан представляет собой эпимагматическую фреато-гидротермальную рециклинговую систему, в которой происходят грязевые извержения растворов содовых масс, содержащих органическое вещество, подобных массам осадков озера Натрон. Есть основание полагать, что эти массы совершают рециклинг от озера через близмеридиональные трещинные структуры в надочаговом пространстве вулкана, там нагреваются, далее извергаются и снова (частично?) попадают в озеро. Преобразования состава масс, происходящие в надочаговом пространстве с возможным заимствованием из него щелочей, и в озере, где, несомненно, происходит обогащение их органическим веществом, требуют специального изучения и анализа. Настоящая система вулкана Олдоиньо Ленгаи является посткарбонатитовой.

Магматический ультращелочной комплекс занимает в рифте Грегори стандартную для него позицию

на периферии ячеистой провинции, в центре которой (вблизи озера Виктория) размещены кимберлиты с алмазоносной трубкой Мвадуи. Создание особого, ультращелочного мантийного протолита (для последующего развития УЩК-карбонатитового магматизма) определяется геодинамической и тектонической судьбой, а именно субдуцированием древних шельфовых карбонатсодержащих толщ на краю конвективной ячейки [2]. Это общая закономерность, в результате чего мантия обогащается компонентами этих толщ, некогерентными по отношению к ювенильным мантийным магмам. Платформенная трансформационная геодинамика определяет адвекцию масс, созданных за счёт взаимодействия субдуцированных и первичномантийных масс, приводя к развитию магматических УЩК-карбонатитовых систем, продуктивных на весьма широкий спектр элементов. Посткарбонатитовая система вулкана Олдоиньо Ленгаи не наследует эту минерагению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Апродов В. А.* Вулканы. – М.: Мысль, 1982. – 367 с.
2. *Барышев А. Н., Хачатрян Г. К.* Минералого-геохимический и геодинамический системный подход к анализу алмазоносности и минерагеническому районированию платформ // Отечественная геология. – 2018. – № 4. – С. 90–103.
3. *Зайцев А. Н.* Минералогия, геохимия и посткристаллизационные преобразования вулканических карбонатитов рифта Грегори (Восточная Африка) // Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – СПб., 2010. – 40 с.
4. *Петрографический кодекс России.* Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Издание второе, переработанное и дополненное. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. – 200 с.
5. *Холодов В. Н.* Грязевые вулканы: распространение и генезис // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – Киев, 2012. – № 4. – С. 5–27.
6. *Crafford A. E., Venzke E.* Report on Ol Doinyo Lengai (Tanzania) // Bulletin of the Global Volcanism Network (September 2019). – V. 44, No. 9.
7. *Report on Ol Doinyo Lengai (Tanzania)* / R. Wanderman, ed. // Bulletin of the Global Volcanism Network (May 2009). – V. 34, No. 5.
8. *Zaitsev A. N., Keller J.* Mineralogical and chemical transformation of Oldoinyo Lengai natrocarbonatites, Tanzania // Lithos. – 2006. – V. 91. – P. 191–207.

REFERENCES

1. *Aprodov V. A.* Volcanoes [Volcanoes]. Moscow, Mysl publ., 1982, 367 p. (In Russ.)

2. *Baryshev A. N., Khachatryan G. K.* Mineralogo-geokhimicheskiy i geodinamicheskiy sistemnyy podkhod k analizu almazonosnosti i mineragenicheskomu rayonirovaniyu platform [Mineralogical-geochemical and geodynamic systems approach to the analysis of diamond content and mineragenic zoning of platforms]. *Otechestvennaya geologiya*, 2018, No. 4, P. 90–103. (In Russ.)
3. *Zaytsev A. N.* Mineralogiya, geokhimiya i postkristallizatsionnyye preobrazovaniya vulkanicheskikh karbonatitov rifta Gregori (Vostochnaya Afrika) [Mineralogy, geochemistry, and postcrystallization transformations of volcanic carbonatites in the Gregory Rift (East Africa)]. *Avtoref. dis. ... d-ra geol.-mineral. nauk*, St. Petersburg, 2010, 40 p. (In Russ.)
4. *Petrograficheskiy kodeks Rossii.* Magmatische, metamorficheskiye, metasomaticheskiye, impektnyye obrazovaniya. *Izdaniye vtoroye, pererabotannoye i dopolnennoye* [Petrographic Code of Russia. Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact formations. Second edition, revised and enlarged]. St. Petersburg, VSEGEI publ., 2008, 200 p. (In Russ.)
5. *Kholodov V. N.* Gryazevyye vulkany: rasprostraneniye i genezis [Mud volcanoes: distribution and genesis]. *Geologiya i poleznyye iskopayemyye Mirovogo okeana*, Kiev, 2012, No. 4, P. 5–27. (In Russ.)
6. *Crafford A. E., Venzke E.* Report on Ol Doinyo Lengai (Tanzania). *Bulletin of the Global Volcanism Network* (September 2019), V. 44, No. 9.
7. *Report on Ol Doinyo Lengai (Tanzania)* (Wanderman R., ed.) *Bulletin of the Global Volcanism Network* (May 2009), V. 34, No. 5.
8. *Zaitsev A. N., Keller J.* Mineralogical and chemical transformation of Oldoinyo Lengai natrocarbonatites, Tanzania // *Lithos*, 2006, V. 91, P. 191–207.